

**DIEGO PAZOS**

## **Consideraciones en torno a las estrategias negociadoras en los contratos de ejecución de obras**

---

### **1. INTRODUCCION**

En los proyectos de construcción de obras va siendo usual que además de las calidades se especifiquen fechas de entrega de llaves y penalizaciones por día de retraso e incluso primas por días de adelanto sobre las fechas previstas de entrega de llaves.

La contratación de obras ha dejado de ser un juego presidido por la incertidumbre para convertirse en un juego desarrollado en ambiente de riesgo merced a las modernas técnicas PERT, CPM, etc., que permiten aquilatar el tiempo de duración de las obras así como valorar las repercusiones que se derivan de las exigencias de los jugadores que llamaremos en lo sucesivo constructor o responsable del desarrollo de las obras y contratista o persona que recibe la obra terminada.

### **2. CONSIDERACIONES**

Si una obra se adelanta el constructor sale beneficiado por los siguientes conceptos:

- Deja de experimentar un coste de oportunidad, ya que tiene empleados en la obra, directivos, capataces, obreros y maquinaria.

- Recibe una prima por cada día que adelanta la fecha de entrega de llaves, si tal prima está estipulada.

- Antes recibirá el último pago que se suele aplazar hasta la entrega de llaves.

El contratista también se beneficia de este adelanto pues si un barco, edificio, fábrica, etc. se termina antes del plazo pactado, antes comenzará su vida productiva; esto no siempre es verdad, por ejemplo, si

se trata de una nave industrial la vida productiva comienza cuando está equipada y no cuando termina la obra civil.

Si por el contrario una obra se termina después del plazo previsto, el constructor experimentará las siguientes desventajas (aparte de no tener las ventajas expuestas anteriormente):

- Sufre una penalización por día de retraso.

El contratista por su parte sufre una pérdida igual al margen por día de explotación menos la penalización con que le indemniza el constructor.

Ante este panorama, el constructor intentará acelerar unilateralmente la finalización de las obras, aunque esta aceleración le ocasione costes suplementarios, resulta lógico pensar que por una parte premie a los obreros, emplee material de más calidad, subcontrate obras, etc. Pero estas formas de proceder se suponen dadas y definen, en definitiva, la técnica de construcción que queda determinada al definir las calidades, modos, etc. en el proyecto de construcción.

El constructor tiene por tanto diversas técnicas o modos de realizar una obra.

Para cada técnica o variante, elaborará un grafo PERT. La variable aleatoria que mide la duración del proyecto, se distribuye normalmente con media suma de medias de tiempos de las actividades que componen el camino crítico, y con varianza suma de las varianzas. En función de esto al constructor le es fácil elaborar el siguiente cuadro:

CUADRO I

Duración del proyecto en días laborales	Técnica I. Prob. de terminar el proyecto % Coste $C_1$	Técnica II. Prob. de terminar el proyecto % Coste $C_2$	Técnica III Prob. de terminar el proyecto % Coste $C_3$
$t_1$ o menos	80	85	87
$t_2$ o menos	85	88	90
$t_3$ o menos	90	92	95
$t_4$ o menos	95	97	98

$C_1 < C_2 < C_3$  es decir los costes según las técnicas son más rápidas, son mayores para una misma calidad de proyecto o diseño.

A la vista del cuadro I son ya posibles diferentes estrategias:

— Si el contratista se muestra indiferente al plazo, el constructor ofrecerá la técnica más barata y fijará una fecha de finalización del proyecto con una alta probabilidad.

— Si el contratista tiene prisa, el constructor ofrecerá una fecha más temprana de finalización de la obra. En este caso empleará una técnica más rápida que resultará más cara. No cabe hablar nunca de una técnica más lenta y más cara para una misma calidad de proyecto, pues sería inviable desde el punto de vista económico.

### 3. ESTRATEGIA DEL CONSTRUCTOR

El constructor tiene la idea fija de ganar un  $c\%$  sobre la cifra de ingresos  $I$ , caso, de que las obras finalicen transcurrido un tiempo  $t$ .

Como los proyectos se desarrollan en un contexto aleatorio, ha de conformarse con tener una esperanza matemática  $c\% \times I$ .

Si el contratista se muestra inflexible en la fecha de finalización fijándola y en la penalización, el constructor puede conseguir la esperanza, fijando el precio y la prima. Son posibles muchas estrategias, tanto para el constructor, como para el contratista.

El constructor para elaborar la suya, ha de fijarse en la siguiente expresión:

$$\begin{aligned} \text{Esperanza de margen} &= \frac{exI}{100} = (I - C_i) + \int_0^t (P + P'_1) (t - x) f_i(x) - \\ \text{para el constructor} & - \int_t^\infty (P'_2 + m) (x - t) f_i(x) dx \end{aligned} \quad (1)$$

donde:

$I$  = Ingreso que percibe el constructor caso de finalizar la obra en un plazo  $t$ .

$C_i$  = Coste de ejecución de la obra realizada según la técnica  $i$  si la obra dura un tiempo  $t$ .

$P$  = Prima que recibe el constructor del contratista por cada día de adelanto sobre la fecha fijada  $t$ .

$P'_1$  = Economía que obtiene por cada día de adelanto sobre la fecha prevista.

$P'_2$  = Deseconomía por día de retraso.

$m$  = Penalización que sufre el constructor por cada día de retraso sobre la fecha prevista  $t$ .

$e$  = % de esperanza de margen fijada por el constructor.

$x$  = Variable aleatoria que mide la duración del proyecto realizado según la técnica elegida. Esta variable por aplicación del teorema central del límite, se dis-

tribuye normalmente con media la suma de las medias de las actividades que componen el camino crítico, y varianza, suma de las varianzas.

$f_i(x)$  = Función de densidad de la variable  $x$ , según técnica  $i$ .

A la vista de la ecuación (1) el constructor operará según las imposiciones del contratista, sus esperanzas de margen y operará calculando el valor máximo o mínimo de los otros parámetros.

De la ecuación general (1) surgen muchos casos particulares de los que comentamos los siguientes:

#### 4. FECHA FINALIZACION LIBRE. CASO PARTICULAR I

El contratista no es exigente en el plazo de finalización (caso por ejemplo de la construcción de una piscina en invierno). No cabe aquí hablar de primas ni penalizaciones, y la ecuación (1) si:

$$P'_1 = P'_2 = P'$$

queda reducida a la siguiente expresión:

$$\begin{aligned} \text{Exp. de margen} &= (I - C) + P' \int_0^t (t-x) f_i(x) dx - \\ &- P' \int_t^\infty (x-t) f_i(x) dx = \end{aligned}$$

Operando:

$$\begin{aligned} &(I - C) + P' \left[ \int_0^t (t-x) f_i(x) dx - \int_t^\infty (x-t) f_i(x) dx \right] = \\ &= (I - C) + P' \left[ t \int_0^t f_i(x) dx - \int_0^t x f_i(x) dx - \int_t^\infty x f_i(x) dx + \right. \\ &\quad \left. + t \int_t^\infty f_i(x) dx \right] = I - C + P' \left[ t - \int_0^\infty x f_i(x) dx \right] \quad (2) \end{aligned}$$

En la práctica y en este caso particular se suele fijar  $I$ ;  $C$  suele variar poco pues el único factor que induce a un coste variable, podría ser la mano de obra que incluso si los trabajos se subcontratan a destajo no suelen variar y los incrementos o decrementos vienen, de las economías, que pueden darse por terminar la obra pronto, o por los costes de oportunidad en que incurre por retraso.

# 5. INTERESA UNA FECHA TEMPRANA DE FINALIZACION. CASO PARTICULAR II

El contratista es exigente en cuanto a plazo, caso por ejemplo de un empresario del espectáculo, que encarga la construcción, decoración y puesta a punto de una sala de bingo. El constructor subcontrata las obras a destajo.

En este caso, la ecuación (1) refleja la situación fielmente. Las conversaciones que se establecen entre el constructor y contratista tienden a fijar:

- una fecha  $t$  de entrega de llaves
- un precio de la obra  $I$
- una penalización  $m$
- una prima  $p$

cada uno de estos parámetros afecta a la función (1).

Además, el constructor por su cuenta evaluará  $P'$  y  $C$  y como el constructor subcontrata a destajo,  $P'_1$  y  $P'_2$  son cero, y  $C$  es una constante.

La ecuación general (1) queda reducida a lo siguiente:

$$\begin{aligned} \text{Esp. de Margen} &< I - C + \int_0^t P(t-x) f_i(x) dx - \\ &- \int_t^\infty m(x-t) f_i(x) dx = I - C + P \int_0^t t f_i(x) dx - \\ &- P \int_0^t x f_i(x) dx - m \int_t^\infty x f_i(x) dx + m \int_t^\infty t f_i(x) dx = \\ &= I - C + P \int_0^t t f_i(x) dx + tm - m \int_0^t t f_i(x) dx - \\ &- P \int_0^t x f_i(x) dx - m \int_t^\infty x f_i(x) dx = (I - C) + \\ &+ (Pt - mt) P(x \leq t) + tm - P \int_0^t x f_i(x) dx - \\ &- m \int_t^\infty x f_i(x) dx \end{aligned} \quad (3)$$

A la vista de la ecuación, fijado un ingreso  $I$  para una fecha particular  $t$ , queda fijado además  $P(x \leq t)$  y sólo le queda proponer una penalización y una prima si el constructor al sustituir en la ecuación (3)  $I$ ,  $C$ ,  $m$  y  $t$ , la esperanza de margen es igual o mayor que  $e$  (margen que le satisface) aceptará las condiciones y las rechazará en caso contrario.

Las expresiones (1), (2), (3) permiten al constructor elaborar una estrategia operando con los ingresos, coste, prima, penalización y fecha

de entrega de llaves o bien le permiten evaluar su esperanza matemática de ganancia ante unas condiciones fijadas por el contratista.

## 6. APLICACION NUMERICA

Un empresario obtiene una concesión para abrir una gasolinera en una carretera nacional. Se pone al habla con varias empresas dedicadas al montaje de estaciones de servicios.

Estas empresas en función de sus carteras de pedido y de sus técnicas de montajes ofrecen fechas indicativas de entrega de llaves, así como condiciones técnicas de los equipos a instalar, calidades en la obra civil, etc.

Elegida una empresa instaladora, el empresario trata de establecer con el constructor un contrato que le preserve de retrasos, etc.

El instalador sabe que no podrá empezar antes de 10 días laborables, pues tiene los equipos trabajando en otra instalación y sabe que según la técnica elegida por el empresario la variable que mide la duración de la obra se distribuye normalmente con media 46 días y varianza 83.

Acuerdan, en principio, que la fecha de entrega de llaves se realizará en 55 días laborables a contar desde el momento actual, si es que llegan a un acuerdo.

El empresario estima que tendrá un margen de 10.500 ptas. por día de explotación de la gasolinera y estaría dispuesto a primar con 8.000 ptas. cada día de adelanto sobre la fecha de entrega de llaves.

El constructor trabaja siempre que el margen o esperanza de margen sea como mínimo el 10% de la cifra de ingresos, caso de terminar la obra en 45 días laborables a partir de la fecha de comienzo. El coste de oportunidad en que incurre cuando sufre un retraso sobre la fecha prevista para la entrega de llaves, es de 12.000 ptas/día, que es igual en este caso a la economía por día de adelanto.

El precio de la obra lo ajustan en 4.500.000 ptas., y el coste con la técnica fijada es de 4.000.000 ptas.

- a) ¿Qué penalización puede aceptar el constructor?
- b) ¿A qué fecha habría que trasladar la entrega de llaves, caso de una penalización de 13.000 ptas. día para asegurar un margen del 10% de los ingresos?

Resolución: A)

Sustituyendo en la ecuación (1)

$$\begin{aligned}
 \text{Esp. de Ganancia} &= 4.500.000 - 4.000.000 + \\
 &+ \int_0^{45} (8000 + 12000) (45 - x) f(x) dx - \int_{45}^{\infty} (12.000 + P) \\
 &(x - 45) f(x) dx = 500.000 + 20.000 \cdot 45 \int_0^{45} f(x) dx - \\
 &- 20.000 \int_0^{45} x f(x) dx - (12.000 + P) \int_{45}^{\infty} x f(x) dx + \\
 &+ (12.000 + P) 45 [1 - \int_0^{45} f(x) dx] = 500.000 + 900.000 P(x \leq 45) - \\
 &- 20.000 \left\{ -\frac{\sigma}{\sqrt{2\pi}} \left[ e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \right]_0^{45} + \mu P(x \leq 45) \right\} - \\
 &- (12.000 + P) \left\{ -\frac{\sigma}{\sqrt{2\pi}} \left[ e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \right]_{45}^{\infty} + \mu - \mu P(x \leq 45) \right\} + \\
 &+ (12.000 + P) 45 [1 - P(x \leq 45)]
 \end{aligned}$$

Sustituyendo  $\sigma$  y  $\mu$  por sus valores tenemos:

$$\begin{aligned}
 &= 500.000 + 900.000 (0,47) + 20.000 \frac{9,11}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{166}} - \\
 &- 20.000 \frac{9,11}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{2116}{166}} - 20.000 \cdot 46 (0,47) - \\
 &- (12.000 + P) \frac{9,11}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{166}} - (12.000 + P) 46 + \\
 &+ (12.000 + P) 46 (0,47) + (12.000 + P) 45 - \\
 &- (12.000 + P) (0,47) 45 =
 \end{aligned}$$

Operando:

$$\begin{aligned}
 &= 562.849 - (12.000 + P) [3,61 + 46 - 21,6 - 23] = \\
 &= 562.849 - (12.000 + P) 4,99
 \end{aligned}$$

Expresión que tiene que ser igual al 10% de la cifra de ingresos:

$$450.000 = 562.849 - (12.000 + P) 4,99$$

de donde:

$$P = 10.615$$

Que es la penalización máxima que el contratista está dispuesto a admitir para una fecha de entrega de llaves de 45 días.

B) ¿A qué fecha habría que trasladar la entrega de llaves, caso de una penalización de 13.000 ptas./día, para asegurar un margen del 10% de los ingresos como mínimo?

A esta solución podemos llegar a través de tanteos en la inecuación siguiente:

$$\begin{aligned} 450.000 &< 500.000 + 20.000 H \varphi(x < H) - \\ &- 20.000 \left\{ -3,63 \left[ e^{-\frac{(H-46)^2}{166}} \right]_0^H + 46 P(x \leq H) \right\} - \\ &- 25.000 - 3,63 \left[ e^{-\frac{(H-46)^2}{166}} \right]_H^\infty + 46 [1 - P(x \leq H)] \Big\} + \\ &+ 25.000 H [1 - P(x \leq H)] \end{aligned}$$

Tanteando para  $H = 47$

$$\begin{aligned} 500.000 + 507.600 - 20.000 \cdot 3,61 + 24,84 - 25.000 \cdot 3,61 + \\ + 21,16 + 540.500 = 504.250 \end{aligned}$$

cifra que supera el 10% de los ingresos. Es decir, el constructor ante esta penalización, retrasará la fecha de terminación hasta el día 47 después del inicio, conservando así su esperanza de margen por encima del 10% de la cifra de ingresos.



### BIBLIOGRAFIA

- ACKOFF SASIENI. Fundamento de Investigación de Operaciones. Ed. Limusa-Wiley, S.A. México, 1971.
- BALLESTERO, E. Principios de Economía de la Empresa. Alianza Textos, 5ª edición. Madrid, 1980.
- CHURCHMAN, ACKOFF Y ARNOFF. Operations research. Ed. Wiley.
- DESBAZEILLE, G. Ejercicios y Problemas de Investigación de Operativa. Ed. ICE, 1969.
- KAUFMANN, A. y DESBAZEILLE, G. Método del camino crítico. Sagitario, 1965.
- KAUFMANN, A. Métodos y modelos de la investigación de operaciones, tomo II. CESCOA, 1970.
- MILLER, R.W. Aplicaciones del método PERT al control de proyectos, costes y beneficios. Ediciones del Castillo, 1967.
- POGGIOLI, P. Aplicación práctica del método PERT. Editores Técnicos Asociados, 1976.
- ROBERTSON, D.C. EL PERT, planificación y control de proyectos. Hispano Europea, 1971.
- ROMERO, C. Programación y Control de Proyectos. Ediciones Pirámide, S.A. Madrid, 1979.
- SASIENI, M. YASPAN, A. y FRIEDMAN, L. Investigación de Operaciones. Ed. Limusa-Wiley, S.A. México, 1967.